

Das Gletscherkorn.

Von Ed. Hagenbach-Bischoff.

Im August des Jahres 1880 machte ich mit einem Nörremberg'schen Polarisationsapparat einige Beobachtungen über die optischen Eigenschaften des Gletschereises am Eigergletscher und an den aus Lawinen entstandenen secundären Gletschern des Trümletenthal. Ich kam dabei zu der Ueberzeugung, dass jedes Gletscherkorn ein einheitliches Krystallindividuum darstellt und dass die Axen der einzelnen Körner oder Krystalle nach den verschiedensten Richtungen orientirt sind. Im September des gleichen Jahres theilte ich der physicalischen Section der Naturforscherversammlung in Brieg¹⁾ einiges über diesen Gegenstand mit und besuchte darauf mit meinem Freunde Herrn F. A. Forel den Rhone- und Aletschgletscher und hatte so Gelegenheit, das früher Beobachtete zu ergänzen. Als ich mir nachher die Literatur über diesen Gegenstand etwas näher ansah, habe ich bemerkt, dass von mir in der Hauptsache nur das bestätigt war, was Andere schon vorher beobachtet und ausgesprochen hatten; namentlich enthält die Abhandlung von F. Klocke²⁾, die im Jahr 1881 erschien, sich aber auf Beobachtungen bezieht, die der Zeit nach den meinigen vorangehen, alle wesentlichen auch von mir untersuchten Punkte. Da es jedoch von

¹⁾ Archives des sciences phys. et nat. de Genève 1880. IV. pag. 385.

²⁾ F. Klocke. Ueber die optische Structur des Gletschereises. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie. 1881. Bd. 1, pag. 23.

einigem Interesse sein mag zu sehen, wie verschiedene von einander unabhängige Untersuchungen das Gleiche ergeben haben, so mag eine kurze Darlegung meiner Untersuchungen mit einigen sich daran schliessenden mehr theoretischen Betrachtungen hier folgen:

Schon Hugi ¹⁾ nannte die einzelnen Stücke, in die das Gletschereis an der Sonne zerfällt, Krystalle, weil sie, wie er bemerkt, auseinander gelockert wirkliche Flächen besitzen. Dieser Grund ist allerdings nicht sehr stichhaltig, da die Flächen, mit denen die Körner aneinanderstossen, ganz unregelmässig und häufig gekrümmt sind und in keiner bestimmten Beziehung zur Krystallstructur stehen. Hingegen gibt es andere sehr deutliche Merkmale, welche in unzweideutiger Weise die Krystallnatur erkennen und die Richtung der Krystallaxe bestimmen lassen; wir stellen dieselben hier zusammen.

1. Wenn man aus einem Gletscherkorn eine planparallele Platte herausschneidet und schleift, was sehr leicht mit der warmen Hand ausgeführt werden kann, so sieht man mit dem Polarisationsapparate die bekannten Erscheinungen der einaxigen Krystalle; besonders deutlich erkennt man im convergirenden Lichte bei Schnitten senkrecht zur Axe die farbigen Ringe mit dem schwarzen Kreuz, bei Schnitten parallel zur Axe die Hyperbeln im homogenen Lichte in einer Platte und die farbigen Hyperbeln in weissem Lichte bei zwei gekreuzten Platten, so wie auch die Savart'schen Interferenzstreifen, wenn zwei schief zur Axe geschnittene Platten sich kreuzen; die letztern sieht man besonders an den Stellen, wo zwei verschiedene Gletscherkörner sich theilweise überdeckend

¹⁾ Hugi. Alpenreise 1830. pag. 338 u. f. — Verhandl. der Schw. N. G. in Winterthur. 1846. pag. 103. — Die Gletscher und die eratischen Blöcke pag. 10.

zusammenstossen. — Die Polarisationsfarben im Eis hat Brewster schon 1817 nachgewiesen; das Gletschereis ist hauptsächlich von Sonklar, Bertin, Grad, Dupré, J. Müller und Klocke optisch untersucht worden.

2. Die bekannten Tyndall'schen Schmelzungsfiguren, die ich im Gletschereis bald, wie Herr Klocke, als runde, besonders durch die an dem Hohlraum eintretende Totalreflexion erkennbare Scheibchen, bald auch als schneeflockenförmige Sternchen erkennen konnte, stehen mit ihrer Ebene stets senkrecht auf der optischen Krystallaxe. Meine ersten optischen Untersuchungen am Eiger-gletscher hatte ich beim Sonnenschein gemacht, und nachdem ich mich zuerst lange durch Ausführung verschiedener Schnitte bemüht hatte, die Richtung der Axe in den verschiedenen Körnern zu bestimmen, fand ich ein nie versagendes Hilfsmittel in den perlmutterglänzenden Schmelzlin sen; sobald ich parallel denselben eine Platte herauschnitt, war ich sicher, recht schön das schwarze Kreuz in der Mitte des Gesichtsfeldes zu erhalten. Agassiz¹⁾ gibt die Abbildung eines Eisstückes, das sehr deutlich die in jedem Gletscherkorn unter sich parallelen, von Korn zu Korn aber verschieden gerichteten Schmelzungsfiguren zeigt; er bezeichnet dieselben als plattgedrückte Luftbläschen, was Tyndall²⁾ als einen Irrthum nachgewiesen hat. Wenn die strahlende Wärme der Sonne längere Zeit auf Gletschereis einwirkt, so dehnen sich die Schmelzfiguren aus und werden zu dünnen, von planparallelen Wänden eingeschlossenen Hohlräumen, welche unter sich parallel die Gletscherkörner durchziehen und denselben ein geschichtetes oder blättriges Aussehen geben; man kann diess besonders an den steil abfallenden,

¹⁾ Agassiz. *Glaciers actuels*. pag. 166. Atlas Pl. VI Fig. 10.

²⁾ Tyndall. *The glaciers of the alps*. London 1860. pag. 359.

den Sonnenstrahlen ausgesetzten Wänden am untern Theil eines Gletschers sehen; man überblickt dann mit der grössten Leichtigkeit, wie in den einzelnen Krystallen die Axen orientirt sind.

3. Als ich im Jahre 1870 die Herren Ch. Dufour und F. A. Forel besuchte, wie sie auf dem Rhonegletscher Beobachtungen über die Condensation des Wasserdampfes durch das Gletschereis anstellten, machte mich der letztere auf eine eigenthümliche oberflächliche Streifung des Gletschereises aufmerksam, die an die feinen Runzeln an Hand und Finger erinnert; man bemerkt sogleich, dass auf jedem Gletscherkorn diese Streifung nach einer besonderen Richtung verläuft, und dass somit an den Grenzen des Kornes diese Streifen in scharfen Winkeln auf einander stossen. Schon Agassiz¹⁾ hat auf diese Streifung aufmerksam gemacht und eine Abbildung derselben gegeben; da jedoch Forel sie ganz unabhängig wieder auffand, davon genaue Abbildungen mit Hülfe der Lupe entwarf und dieselben auch dadurch fixirte, dass er sie in weiches Wachs abdrückte und davon wieder Gypsabgüsse nahm, so wollen wir sie die Forel'schen Streifen nennen. Dieselben scheinen, wie Forel und ich in übereinstimmender Weise gefunden haben, in bestimmtem Zusammenhang mit der Krystallstructur zu sein und stets in der Richtung zu verlaufen, in welcher eine zur Krystallaxe senkrechte Ebene die Oberfläche schneidet. So weit meine Beobachtungen reichen, scheinen diese Forel'schen Streifen sich überall da zu zeigen, wo glatte Eisflächen an der Luft schmelzen und das Wasser gleich verdunstet; sobald das Wasser flüssig der Wand entlang abläuft, zeigen sie sich gewöhnlich nicht. Auch an gewöhnlichem Wintereis, das von stehendem Wasser für Eiskeller ge-

¹⁾ Agassiz. Glaciers actuels pag. 163. Atlas Pl. VI. Fig. 9.

wonnen wurde und einige Zeit im Freien liegen blieb, habe ich solche Streifung bemerken können; da in solchem Falle die Krystallaxen senkrecht zur Oberfläche des gefrorenen Wassers gerichtet sind, so verlaufen die Streifen mit der letzteren parallel. Agassiz identificirt die Forel'schen Streifen an der Oberfläche des Eises mit den Streifen, welche die Gletscherkörner beim Auseinandernehmen an den zusammenstossenden Flächen zeigen; es scheint mir das auf einem Irrthum zu beruhen; schon äusserlich sehen die letztern ziemlich anders aus; sie sind im Allgemeinen stärker ausgeprägt und verlaufen nicht gerade sondern geschlängelt; auch scheinen die letztern in keinem Zusammenhang mit der Krystallstructur zu sein, sondern die Bahnen des in den Zwischenräumen ablaufenden Wassers darzustellen; damit hängt auch wohl zusammen, dass sie auf den an einander stossenden Flächen zweier Gletscherkörner gleich gerichtet sind.

4. Auch der Mangel an Porosität in dem einzelnen Gletscherkorn zeigt deutlich, dass wir es nicht wohl mit einer krystallinischen Masse zu thun haben und hängt somit mit der Krystallstructur zusammen. Man kann sich von der genannten Eigenschaft am besten dadurch überzeugen, dass man ein Gletscherkorn mit Tyndall'schen Schmelzungsfiguren in Wasser, oder, noch besser, in Petroleum legt; das letztere dringt nicht in den leeren Raum ein, so lange die trennende Wand auch nur einen Bruchtheil eines Millimeters beträgt. Das gleiche zeigt sich, wenn wirkliche Luftbläschen im Krystall eingeschlossen sind, was bekanntlich auch vorkommt und von den Tyndall'schen Schmelzungslinsen wohl zu unterscheiden ist; erst wenn der letzte Rest der Wand schwindet, wird die eingeschlossene Luft befreit.

5. Die Krystallstructur scheint sich auch noch in einer zur Axe senkrechten Spaltbarkeit auszusprechen;

doch ist dieselbe so wenig ausgeprägt, dass ich nicht mit Sicherheit das Vorhandensein derselben behaupten kann.

Optische Eigenschaften, Tyndall'sche Schmelzungsfiguren, Forel'sche Streifen, Mangel an Porosität und vielleicht auch noch Spaltbarkeit führen somit übereinstimmend zu dem gleichen Resultate, dass jedes Gletscherkorn einen einheitlichen Krystall darstellt.

Die einzelnen Krystalle oder Gletscherkörner stossen in sehr mannigfach geformten, gewöhnlich nicht ebenen Flächen zusammen und zwar so, dass die Krystallaxen die verschiedensten Winkel mit einander bilden; die Flächen schneiden sich dann wieder in Linien, welche als ein unregelmässig gestaltetes Netzwerk die Eismasse durchziehen. Ist die Eismasse fest und spröde, wie das bei Temperaturen unter Null Grad sein muss, so haften die einzelnen Krystalle unmittelbar an einander, wir haben dann nur die mathematische Scheidewände bildenden Verwachsungsflächen; die Cohäsion ist in denselben nicht geringer als im Innern der Krystalle, weshalb sprödes Gletschereis beim Zerschlagen wie Glas muscheligen Bruch zeigt, ohne dass die einzelnen Gletscherkörner aus einander fallen; auch dringt in diesem Fall eine gefärbte Flüssigkeit, wie man sich leicht durch den Versuch überzeugen kann, nicht hinein. Hingegen sind diese Verwachsungsflächen ausserordentlich scharf und deutlich in dem parallelen polarisirten Lichte erkennbar. Wenn dann aber das Gletschereis an warmem Wind oder an der Sonne zu schmelzen beginnt, so macht sich die Schmelzung an den Grenzflächen der Krystalle geltend, und da werden dann die mathematischen Verwachsungsflächen zu Haarspalten, in denen das Schmelzwasser circuliren kann. Nun ist die Cohäsion an den Grenzflächen aufgehoben und gefärbte Flüssigkeiten dringen mit Leichtigkeit in die Spalten ein und sammeln besonders sich in den Linien an, wo sich

diese schneiden und zeichnen so sehr schön und deutlich das oben erwähnte netzförmige Gebilde. Bei dieser Gelegenheit sei bemerkt, dass sich zu solchen Versuchen über Infiltration ganz besonders das in Wasser lösliche Anilinblau eignet; wenn man ein bischen davon in Pulverform auf die Oberfläche des schmelzenden Gletschereises ausstreut, so zeigt sich in sehr prägnanter Weise die erwähnte Erscheinung. Die Aufhebung der Cohäsion gibt sich jetzt natürlich auch dadurch zu erkennen, dass die Gletscherkörner mit Leichtigkeit sich von einander ablösen lassen und das Gletschereis in seine Körner zerfällt.

Wir möchten nun noch die Frage berühren, wie wir uns die Entstehung dieser Gletscherkörner zurechtlegen können; diese Frage ist besonders dadurch gerechtfertigt, dass sie in innigem Zusammenhang mit der Bewegung und dem Wachsthum der Gletscher überhaupt steht.

Da ganz allgemein zu beiden Seiten der Verwachsungsflächen oder Haarspalten die Krystallaxen anders gerichtet sind und der Uebergang ganz plötzlich stattfindet, so können unmöglich die Haarspalten einfach durch Bruch in Folge der Bewegung entstandene Risse sein. Auch die Ansicht, dass die Gletscherkörner als Bruchtheile noch grösserer Krystalle aufzufassen seien, welche zuerst unter einander geworfen und dann durch Regelation zusammengewachsen und verkittet sind, geht wohl kaum an, da wir solche grössere Krystalle in der oberen Region nirgends finden und jedenfalls dann zuerst erklären müssten, woher diese ganz grossen Krystalle gekommen sind. Die seit Hugi vielfach wiederholten Beobachtungen zeigen, dass die Körner im Vorrücken vom Firn bis zu dem Rande der Gletscherzunge continuirlich wachsen und am untern Ende oft ganz bedeutende Dimensionen erreichen; am Rhonegletscher habe ich mit Forel ein sehr unregelmässig geformtes Gletscherkorn in drei zu

einander senkrechten Richtungen gemessen und die Dimensionen von 14, 12 und 9 cm. erhalten. Diese stetige Zunahme lässt uns schliessen, dass die Schneekrystall- oder Firnkörner in dem Quellengebiet des Gletschers den Keim der faustgrossen Krystalle am untern Ende der Gletscherzunge bilden und dass die fortschreitende Entwicklung auf der vielleicht hundert und mehr Jahre langen Wanderung stattgefunden hat. Das Wachsthum des Kornes zeigt sich bekanntlich auch, wenn man von der Oberfläche des Gletschers mehr in die Tiefe dringt; da nun beim Fortschreiten des Gletschers die obern Schichten abschmelzen und tiefer liegende zu Tage treten, so kann die Grösse der Körner am Ende des Gletschers theilweise auch aus der tiefen Lage erklärt werden.

Wie findet nun aber das Wachsthum des Gletscherkrystalles statt?

Wir können uns das auf zwei ganz verschiedene Arten denken. Der wachsende Krystall entnimmt das Material entweder seinen Nachbarkrystallen oder dem Wasser, das ihm in flüssiger Form zugeführt wird; ein drittes ist kaum denkbar; hingegen ist möglich, dass je nach Umständen die beiden Arten vorkommen. Diese Frage des Wachsthums des Gletscherkrystalles ist neuerdings in einer sehr einlässlichen Weise von F. A. Forel¹⁾ behandelt worden; und wenn ich auch nicht den Ansichten meines Freundes in allen Punkten meine Zustimmung geben kann, oder gerade, weil ich das nicht kann, so mag es gestattet sein, die beiden Arten des Wachsthums hier noch etwas näher zu skizziren und die Gründe für und wider jede Annahme zusammenzustellen.

Betrachten wir zuerst das Wachsen eines Krystalles

¹⁾ F. A. Forel. Le grain du glacier. Archives des sciences phys. et natur. de Genève. Tome VII. pag. 329. (1882).

auf Kosten des Materiales seiner Nachbarn, das Ueberkrystallisiren aus einem Krystall in einen andern oder das Zusammenkrystallisiren mehrerer Individuen zu einem einzigen.

Wenn zwei Krystalle, deren Axen schief zu einander stehen, in einer Fläche verwachsen sind, so könnte man annehmen, dass nur durch gegenseitige Einwirkung der Molekeln auf einander an der Contactstelle ein Ueberkrystallisiren aus einem Individuum in das andere stattfindet. Allerdings, wenn die beidseitigen Krystallaxen gegen die Grenzfläche gleich geneigt sind, so wäre zu beiden Seiten alles symmetrisch und somit kein Grund zur einseitigen Aenderung vorhanden. Wenn jedoch z. B. in dem einen Krystalle die Axe mit der Grenzfläche parallel ist, in dem andern aber schief dazu steht, so wäre denkbar, dass die stabilere Lage der Molekeln im ersten Krystalle ihm die Fähigkeit gibt, die Molekeln des andern in seine Structur hinüberzunehmen; dies würde auch gelten für den Fall, wo mehrere kleine Krystalle an einen grossen angelegt sind, da dann die Axe des grossen Krystalls der Grenzfläche parallel ist. Solche Vorgänge mögen vielleicht vorkommen, wo fein krystallisirte Massen mit der Zeit die Structur und Spaltbarkeit einheitlicher grösserer Krystalle zeigen, z. B. bei Petrefacten aus kohlensaurem Kalk. Man könnte nun annehmen, dass auch beim Gletschereis ein solches langsames nur durch die grössere Stabilität einzelner Krystalle bedingtes Umkrystallisiren Platz greife und sich so nach und nach aus kleinern Krystallen grössere bilden; allein verschiedene Umstände, und besonders die fortschreitende Bewegung des Gletschers scheinen doch darauf hinzudeuten, dass äussere mechanische Einwirkungen und besonders der durch Schwere und Bewegung hervorgebrachte Druck bei der Umformung eine Rolle spielen. Wir wollen sehen,

wie wir diess mit Beziehung bekannter physicalischer Thatsachen uns zurecht legen können.

Es ist aus den Versuchen von Faraday, Tyndall, Helmholtz u. A. bekannt, dass wenn Schnee oder zerstossenes Eis zusammengeführt werden, eine ziemlich homogen aussehende Eismasse daraus entsteht; und die interessanten Versuche von Spring ¹⁾ haben dargethan, dass noch manche andere Körper, wenn sie in kleinen pulverförmigen Kryställchen zusammengeführt werden, ähnliches zeigen. Das Aussehen der so entstandenen Körper lässt uns vermuthen, dass in solchen Fällen nicht nur die einzelnen sehr verschieden gerichteten minimen Kryställchen durch Adhäsion an einander geheftet werden und so eine fein krystallinische Masse bilden, deren Theilchen nicht grösser sind als die eintretenden Elemente, sondern dass zugleich durch Umlagerung der Molekeln mehrere kleine Kryställchen zu einem einheitlichen grössern Krystalle zusammenwachsen. Die optische Untersuchung im polarisirten Licht sollte die Frage am besten entscheiden können; eine ganz vorläufige Untersuchung des in der hydraulischen Presse durch Druck zu Eis verwandelten Schnees hat mir keinen bestimmten Aufschluss gegeben; doch beabsichtige ich gelegentlich diesen Gegenstand experimentell weiter zu verfolgen. Einstweilen möchte ich hier nur einige theoretische Betrachtungen beifügen, die zeigen sollen, wie man sich vielleicht von diesen mit der Bewegung des Gletschers zusammenhängenden inneren Umformungen Rechenschaft geben kann.

Die bekannte Erscheinung der Regelation, welche auf die Erniedrigung des Schmelzpunktes durch Druck zurückgeführt wird, hat man wohl mit Recht bei der Er-

¹⁾ W. Spring, Bulletin de l'Académie royale de Belgique. Sér. 2. Tome XLIX. 1880. p. 319.

klärung der Umformungen des Gletschereises zu Hülfe gezogen. Es ist gewiss nur naturgemäss, wenn man nicht nur das Zusammenballen des Schnees und Firns zu compacten Massen in der obern Region, sondern auch im weitem Verlaufe die Wiedervereinigung und das Zusammenschweissen der einzelnen Theile des Gletschers, wenn er durch Spalten, Schründe, Klüfte und Gletscherstürze auseinander gerissen war, durch Regelation erklärt. Aber es reicht das nicht aus. Gerade so wie wir über Leben und Wachsthum der Pflanze nur eine wissenschaftlich befriedigende Auskunft erhalten, wenn es uns gelingt, die Vorgänge in der Zelle zu erkennen, so ist es auch hier nothwendig, dass wir vor Allem das Augenmerk auf das Element des Gletschers, das einen einheitlichen Krystall bildende Korn richten und zusehen, wie dasselbe Gestaltsveränderung und Wachsthum unter dem Einfluss der darauf wirkenden Kräfte erleidet.

Die von verschiedenen Forschern erhaltenen Resultate über die Bewegungen des Gletschers haben wohl deutlich die Thatsache ergeben, dass grössere zusammenhängende Massen von Gletschereis, das wir uns also als ein Aggregat von mässig grossen Krystallen zu denken haben, unter dem Einfluss äusseren Druckes bleibende Gestaltsveränderungen annehmen; dass also das Gletschereis im Grossen und Ganzen eine Art Plasticität besitzt. Kann dies aus einer eigentlichen Plasticität, die der Eissubstanz der Krystalle zukommt, erklärt werden? Versuche von Matthews, Bianconi u. A. haben allerdings die eigentliche Plasticität der festen Eissubstanz nachgewiesen; sie zeigt sich an der bleibenden Biegung, die eintritt, wenn man Eisplatten an den Rändern auflegt und in der Mitte belastet. Im vergangenen Winter habe ich diese Versuche wiederholt und die Angaben vollkommen bestätigt gefunden; und zwar bei Anwendung von Eis-

strahlen, wie sie auf einer ruhig gefrierenden Wasseroberfläche vom Rande aus anschiessen. Dabei hatte ich zuerst durch eine optische Untersuchung im polarisirten Lichte mich davon überzeugt, dass ich es mit einem einheitlichen Krystall zu thun hatte, dessen Axe in der Richtung des Strahles verlief. Es darf uns also nicht wundern, wenn die Eiskrystalle, die im Gletscher sehr verschiedenen Drucken ausgesetzt waren, solche Deformationen zeigen. Die von Klocke optisch nachgewiesenen Anomalien, die er durch verschiedene unregelmässige Spannungszustände eines und desselben Individuums erklärt, scheinen mir in diese Kategorie zu gehören. Dieselben sind jedoch viel zu gering, als dass die bedeutende Umformung einer Eismasse bei der Bewegung darauf zurückgeführt werden könnte, da in der Hauptsache in jedem Gletscherkorn die optische Axe ihre gerade Richtung beibehält; dasselbe gibt sich auch kund durch den Parallelismus der Ebenen der Schmelzungsfiguren. Der Grund der Plasticität der Masse kann somit nicht in der Substanz der einzelnen Krystalle, sondern nur an der Grenze gefunden werden, wo sie zusammenstossen. Die ganz unregelmässige in einander verwachsene Gestalt der Gletscherkörner lässt die Annahme einer Verschiebung an den Grenzflächen nicht wohl zu. Sehen wir desshalb, wie auch hier die Regelation uns Aufschluss geben kann.

Denken wir uns eine aus einzelnen an einander gelagerten Krystallen bestehende Eisplatte und nehmen wir, der Einfachheit wegen, vorerst an, dass alle Krystalle gleich orientirte Würfel von der Dicke der Platte seien. Wie können wir uns die Deformation einer solchen Platte denken, ohne dass der Zusammenhang der Krystalle aufgehoben wird? Wenn wir durch eine äussere Kraft die Platte zu biegen suchen, wird auf der concaven Seite Druck und auf der convexen Seite Spannung zwischen

den einzelnen Krystallen eintreten. Befindet sich ferner die Eisplatte auf der Temperatur von Null Grad, so bewirkt der Druck auf der concaven Seite Erniedrigung des Schmelzpunktes und folglich Verflüssigung an den Grenzflächen; an der convexen Seite werden die Haarspalten durch den Zug eröffnet und können so die auf der concaven Seite gebildete und verdrängte Flüssigkeit aufnehmen, die dann nicht verfehlen wird, wieder fest zu werden, sobald sie dem die Verflüssigung bewirkenden Drucke entronnen ist. Wie bei dem bekannten Experimente, wo ein beschwerter Draht einen Eisblock durchsetzt, stets unter dem Draht das Eis schmilzt und über demselben wieder gefriert, wird bei unserer Platte unter dem Einfluss der biegenden Kraft in den Haarspalten Eis von der concaven auf die convexe Seite geschafft werden und dadurch eine bleibende Biegung der Platte erzeugen; dabei verändern auch die einzelnen cubischen Körner ihre Gestalt, auf der convexen Seite werden sie breiter und auf der concaven schmaler. In Wirklichkeit haben die Körner oder Krystalle nicht Würfelform, sondern sehr unregelmässige Gestalten; es werden deshalb auch bei Einwirkung biegender Kräfte die inneren Drucke und Spannungen sich ziemlich unregelmässig auf die Grenzflächen der Krystalle vertheilen. Allein das hindert nicht, dass auch dann die Substanz des Eises, indem sie den Flüssigkeitszustand passiert, von den Stellen des Druckes zu den Stellen des Zuges übergeht, und dass so unter steter Ausgleichung der inneren Druck- und Spannungsdifferenzen die Gestaltsveränderung zu Stande kommt. Dass bei diesem Process in Bezug auf Wärmemenge die Consumption bei der Schmelzung und die Production beim Gefrieren sich ausgleichen, ist selbstverständlich. Auch ist nicht nöthig, dass alles auf der einen Seite geschmolzene Wasser auf der andern wieder gefriert;

man kann wohl zugeben, dass ein Theil als Flüssigkeit abläuft.

Die stetige der Differentialbewegung entsprechende Deformation einer Gletschereismasse lässt sich auf diese Weise erklären, aber noch nicht das Wachsthum des Gletscherkorns; denn wenn gar keine Flüssigkeit verloren ginge, so würde jedes Korn auf der einen Seite so viel schwinden als es auf der andern Seite zunimmt, und also in Bezug auf Dimension sich alles gleich bleiben.

Ein Wachsthum der einen Körner auf Kosten der andern kann nur stattfinden, wenn die Bedingungen für Abnahme und Zunahme sich ungleich auf die verschiedenen Krystalle vertheilen. Auch hier glauben wir einen Erklärungsgrund in dem Vorgange der Regelation finden zu können. Die Erniedrigung des Schmelzpunktes durch Druck beim Eis wird bekanntlich mit der Ausdehnung beim Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand in Zusammenhang gebracht; bei Körpern, die sich bei diesem Uebergang zusammenziehen, wurde im Gegentheil eine Erhöhung des Schmelzpunktes durch Druck nachgewiesen. Nun wissen wir von den Krystallen, dass sowohl die Ausdehnung durch die Wärme als auch die Elasticitätsverhältnisse mit der Richtung der Krystallaxen ganz bedeutend variieren können. Es wäre somit denkbar, dass bei einem Eiskrystall, wenn die Druckrichtung mit der Hauptaxenrichtung zusammenfällt, eine Erhöhung des Schmelzpunktes eintritt, während ein senkrecht auf die Axenrichtung ausgeübter Druck Erniedrigung des Schmelzpunktes erzeugt. Unter dieser Voraussetzung müsste, wenn zwei in einer Fläche verwachsene Eiskrystalle A und B, wovon A seine Axe senkrecht zur Trennungsfäche und B parallel zu derselben hat, gegen einander gedrückt werden, unter Einfluss des Druckes ein Ueberkrystallisiren aus B in A stattfinden; umgekehrt müsste

ein Zug, d. h. eine die Molekeln auseinander ziehende Spannung, das Umkrystallisiren von A in B bewirken. Wir haben, um die Vorstellungen klar zu stellen, den förmlichen Gegensatz von Erhöhung und Erniedrigung des Schmelzpunktes angenommen; es ist aber leicht einzusehen, dass, wenn auch in geringerem Grade, die gleichen Erscheinungen eintreten müssen, wenn in beiden Fällen Erniedrigung, aber in verschiedenem Grade, eintritt. Es würde somit bei dieser Annahme Abschmelzung und Zuwachs nicht alle Krystalle in gleicher Weise treffen; die Krystalle, deren Axen mit der Druckrichtung zusammenfallen, würden verhältnissmässig mehr für das Wachsthum begünstigt und somit auf Kosten der übrigen zunehmen; und zwar würde das nicht nur da geschehen, wo äussere Kräfte eine Gestaltsveränderung zu bewirken suchen, sondern auch da, wo die ganze Masse gedrückt oder vorwärts geschoben wird.

Unter den gemachten Voraussetzungen würde also in einem Krystallgemenge, bei dem ursprünglich die Axen nach allen möglichen Richtungen orientiert sind, durch Einfluss eines in bestimmter Richtung ausgeübten Druckes ein Umkrystallisirungsprocess in der Art eintreten, dass die Krystalle, deren Hauptaxen mit der Druckrichtung zusammenfallen, auf Kosten der Substanz der andern wachsen, deren Axen zur Druckrichtung senkrecht stehen. Krystalle, deren Axen schief zu der Druckrichtung stehen, würden in die Kategorie der wachsenden oder schwindenden Krystalle fallen, je nachdem sie mehr der einen oder andern Lage sich nähern. So müssten also unter dem Einfluss des Druckes mit der Zeit die kleineren Krystalle zu grösseren zusammenwachsen und zugleich die Richtung der Axen immer mehr mit der Druckrichtung zusammenfallen. Wenn der Druck ganz constant nach der gleichen Richtung wirkt, so wäre das ideelle Schlussresultat ein

grosser Krystall, dessen Axe mit der Druckrichtung zusammenfällt.

Wenden wir nun diese mehr allgemeine Betrachtung speciell auf den Gletscher an. Wir haben alle Ursache anzunehmen, dass in der festen Eismasse des Gletschers nach bestimmten von der Wirkung der Schwerkraft und den Widerständen abhängigen Richtungen ein Druck stattfindet und senkrecht dazu ein Zug, d. h. ein Streben die Molecularabstände zu vergrössern. Es müssten also mit der Zeit die Gletscherkörner, deren Axen mit der Druckrichtung zusammenfallen, auf Kosten der übrigen wachsen. Da wir nun nicht annehmen können, dass die einzelnen Gletscherkörner bei der Bewegung stets die gleiche Lage zur Druckrichtung behalten, so dürfen wir nicht folgern, dass nach einiger Zeit die Axen sämtlicher Gletscherkörner mit der Druckrichtung zusammenfallen. Es wird häufig, und zwar beim ruhigen Fortschreiten mehr stetig, bei Eisstürzen mehr plötzlich, vorkommen, dass bald grössere bald kleinere Stücke von Eis und somit auch die Krystalle gedreht werden, was eine Aenderung der Lage der Axe zur Druckrichtung nach sich zieht; der gleiche Krystall kann also nacheinander abwechselungsweise Perioden des Wachstums und des Schwindens durchmachen und deshalb können auch grössere Krystalle gefunden werden, deren Axen zur Druckrichtung senkrecht stehen. Immerhin müsste, wenn nicht stets alles wieder unter einander geworfen wird, ein Zusammenhang zwischen Druckrichtung und Orientierung der Axen sich geltend machen, und zwar in der Art, dass, wenn schon alle möglichen Richtungen bei den Axen vorkommen, doch die, welche nahe mit der Druckrichtung übereinstimmen, im Verhältniss zu den andern vorherrschend sind.

Ich habe einige Untersuchungen über diesen Punkt

angestellt, doch sind dieselben leider nicht zahlreich genug, um mit Sicherheit einen Schluss ziehen zu können, besonders da Klocke durch seine sorgfältigen Beobachtungen zu einem etwas andern Resultate gekommen ist. Bei den aus der Tiefe des Gletschers, wo sicher der Verticaldruck überwiegt, am untern Ende zu Tage tretenden Körnern wird man Bevorzugung der senkrechten Axenrichtungen erwarten können. Dem entsprechend zeigten von sieben bei der Eishöhle des Rhonegletschers ganz willkürlich horizontal herausgeschnittenen Platten sämtliche im Polarisationsapparat das Kreuz, während von sieben vertical herausgeschnittenen es nur eine erkennen liess. Auch die Schichtung steht ohne Zweifel mit der Druckrichtung im Zusammenhang. Ueberall da, wo eine deutliche Schichtung zu erkennen war, am Rhonegletscher und am Aletschgletscher, schien mir die Normale zu den Schichtungsebenen in den Axenrichtungen vorherrschend zu sein; ich hatte nämlich mehr Chance, die Ringe mit dem schwarzen Kreuz im Polarisationsapparat zu sehen, wenn ich die Platte parallel zur Schichtung als senkrecht zu derselben herauschnitt.

Wenn sich die erwähnten Beobachtungsergebnisse durch weitere Untersuchungen bestätigen, so müsste die von Klocke ausgesprochene Ansicht über das regellose Aggregat krystallinischer Individuen etwas modificirt werden; dass alle möglichen Richtungen bunt durcheinander vorkommen, könnte man zugeben, aber so, dass eine bestimmte Richtung, und zwar die des Druckes, vorherrscht. Bis auf einen gewissen Grad erhielt dann auch die von den Herren Bertin¹⁾, Grad und Dupré²⁾ ausge-

¹⁾ Bertin. Sur la constitution de la glace glaciaire. Comptes rendus. Vol. 63. pag. 346. (1866).

²⁾ Grad et Dupré. Observations sur la constitution et le mouvement des glaciers. Comptes rendus. Vol. 69. pag. 955. (1869).

sprochene Ansicht ihre Berechtigung, wenn man die „Parallelstellung aller Axen“ durch den allerdings viel weniger sagenden Ausdruck „bevorzugte Richtung“ ersetzt. Die genannten Herren behaupten nämlich, am untern Grindelwaldgletscher alle Axen senkrecht und am untern Aletschgletscher ganz wenig gegen die Senkrechte geneigt gefunden zu haben.

Ich hoffe Zeit und Gelegenheit zur weiteren Verfolgung dieses Gegenstandes zu finden; und es wäre auch sehr zu wünschen, dass andere unparteiische Beobachter demselben ihre Aufmerksamkeit zuwenden; da man auch ohne Polarisationsapparat bei Sonnenschein mit den Tyndall'schen Schmelzungsfiguren ganz sicher die Axenrichtung der Krystalle bestimmen kann, so ist es nicht sehr schwierig, derartige Beobachtungen in grösserer Menge anzustellen.

Die Umformung des Eises nach der aufgestellten Theorie kann natürlich nur bei Null Grad stattfinden; dieselbe erfordert also, dass die Hauptmasse des Gletschers im Innern stets dem Schmelzpunkte nahe sei. Angestellte Versuche scheinen das zu ergeben; doch wäre es sehr wünschenswerth, wenn über diesen mit der Theorie der Gletscherbewegung so innig verknüpften Punkt noch weitere Beobachtungen angestellt würden.

Während die Krystalle, deren Axen mit der Druckrichtung zusammenfallen, auf Kosten der übrigen wachsen, müssen natürlich die Gletscherkörner, deren Axen senkrecht zur Druckrichtung sind, nach und nach schwinden. Man sollte somit diese stets kleiner werdenden und schliesslich verschwindenden Körner in allen möglichen Zwischenformen vorfinden. Nun sind zwar die Gletscherkörner an einer gegebenen Stelle nicht alle gleich, aber die Unterschiede scheinen doch nicht so gross zu sein, als es bei obiger Annahme wohl sein sollte, und beson-

ders sind ganz kleine Körner zwischen den grossen, welche die im Verschwinden begriffenen darstellen könnten, verhältnissmässig selten. Es ist das, wie Forel ¹⁾ ganz richtig bemerkt hat, ein Hauptgrund gegen die unbedingte Annahme des geschilderten Vorganges. Vielleicht sind diese kleinen dem Verschwinden nahen Körner in der schwer zugänglichen Tiefe des Gletschers, die wir als hauptsächliche Bildungsstätte des grossen Kornes auffassen müssen, zahlreicher vorhanden, und sind nur da, wo das Eis zu Tage tritt, grösstentheils schon geschwunden.

Wir gehen nun über zu der andern Auffassung, nach welcher das Gletscherkorn wächst auf Kosten des ihm zugeführten flüssigen Wassers. Diese Theorie wurde zuerst von Hugi aufgestellt, später besonders von Grad ²⁾ weiter ausgeführt und neuerdings von Forel befürwortet und dabei ausführlich besprochen und nach mehreren Seiten hin ergänzt.

Die Annahme, dass die neuen sich anlegenden Molekeln der Form des schon gebildeten Krystalles sich anschliessen, ist ganz den Gesetzen des Wachsthumes eines Krystalles in einer die gleiche Substanz enthaltenden Flüssigkeit entsprechend. Dabei muss natürlich eine der festwerdenden Substanz entsprechende Menge von Wärme der Flüssigkeit entzogen werden; und es kann dies geschehen, sobald wir annehmen, dass die Gletscher im Winter im Inneren bedeutend unter Null abgekühlt werden. Herr Forel hat durch eine einlässliche Rechnung gezeigt, dass die dazu nöthigen Annahmen nichts naturwidriges enthalten, und dass ein jährliches Wachstum des Gletscherkorns von 0,043 im Volumen oder 0,014

¹⁾ Forel, l. c. pag. 334.

²⁾ Grad. Les glaciers et leur mouvement. Les Mondes. Tom. XXXV. pag. 306. (1874).

(etwa $1\frac{1}{2}$ ‰) in linearer Dimension erklärt werden könne, wenn man eine Abkühlung der inneren Masse des Gletschers im Winter auf 7° unter Null annimmt. Allerdings müsste, wie auch Forel zugibt, die Thatsache einer solchen Abkühlung, die mit den bisherigen Temperaturbeobachtungen nicht recht stimmt, noch nachgewiesen werden.

Auch die zum Wachstum nöthige Wassermenge kann leicht gefunden werden einerseits in dem, was oberflächlich schmilzt und andererseits in dem, was Niederschläge und Condensation dem Gletscher zuführen.

Viel schwieriger ist es sich über den Weg Rechenchaft zu geben, auf welchem das Wasser zu den Krystallen gelangt.

Wenn Wasser zu kaltem lockerem Schnee kommt, ist leicht begreiflich, dass dasselbe hinein filtrirt und von den einzelnen Kryställchen aufgenommen wird, und dass so diese dadurch wachsen. Herr Forel hat auch durch einen sehr hübschen und anschaulichen Versuch mit Schnee, den er abwechslungsweise erkältete und mit Wasser übergoss, eine grobkrySTALLINISCHE Eismasse hergestellt, in welcher die einzelnen Körner zu sehr merklicher Grösse angewachsen waren. Die Bildung von Eis in der Tiefe des Lawinenschnees und sonstiger grösserer Schneemassen¹⁾ lässt sich gut auf diese Weise erklären; beim grossen Gletscher kann jedoch dieser Vorgang nur angenommen werden in der Schnee- und Firnregion und bis auf einen gewissen Grad noch in der obern Gletscherregion, wo zwischen den Gletscherkörnern lufthaltige Räume sind. Weiter unten ist bekanntlich das Gletschereis compact, und da nimmt Forel an, dass das Wasser auf dem Wege der Haarspalten den einzelnen Krystallen zugeführt werde.

¹⁾ Grad. Observations sur les petits glaciers temporaires des Vosges. 1871.

Nun aber hat, wie wir schon weiter oben bemerkt, sprödes Gletschereis unter Null nur Verwachsungsflächen der Krystalle, aber keine offenen Haarspalten; diese treten erst beim Schmelzungspunkte auf. Die von verschiedenen Forschern angestellten Versuche über Infiltration gefärbter Flüssigkeiten lassen allerdings auf eine ziemlich allgemeine Permeabilität des Gletschereises in der Tiefe schliessen; was aber, wie mir scheint, nur dann möglich ist, wenn an den betreffenden Stellen die Temperatur nicht unter Null ist. Die beiden von Forel gemachten Annahmen, dass einerseits das Eis in der Tiefe des Gletschers bedeutend unter Null sei und andererseits offene dem Wasser Zugang verschaffende Haarspalten habe, lassen sich also nicht gut zusammen reimen.

Aber selbst wenn wir über diese Schwierigkeit hinweggehen und annehmen, dass die Grenzflächen zwischen den Krystallen ganz allgemein offene dem Wasser den Weg anweisende Spalten enthalten, so kann doch stets nur so viel Wasser eindringen, als die Weite der Spalte beträgt, und es kann somit das einem Jahr entsprechende lineare Wachsthum stets nur der Weite der Spalte entsprechen, d. h. es wird jeder Krystall linear um $\frac{10}{9}$ der ihn umgebenden Spalte zunehmen; wobei der über das Ganze hinausgehende Neuntel von der Ausdehnung beim Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand herührt. Falls dann auch die fortschreitende Bewegung des Gletschers aus dieser Ausdehnung erklärt werden soll, so darf natürlich nur dieser Neuntel und nicht die ganze $\frac{10}{9}$ betragende Grösse in Rechnung gebracht werden, indem ja die Spalte selbst schon vor dem Eindringen des Wassers existirt und somit, auch wenn sie angefüllt wird, nicht zum Wachsthum beitragen kann; es sei denn, dass

man annehmen wollte, das Wasser dringe wie ein Keil zwischen die Körner und schaffe sich durch Auseinanderreiben derselben selbst den Weg, was nach mechanischen und physicalischen Grundsätzen sich wohl kaum rechtfertigen liesse.

Wie sollen nun aber, nachdem im Frühjahr durch Eindringen des Wassers die Spalten angefüllt und durch das Gefrieren desselben zugewachsen sind, bis zum nächsten Jahre wieder neue Spalten entstehen, deren Weite etwa $1\frac{1}{2}$ % der linearen Ausdehnung des Gletscherkorns beträgt? Die Zusammenziehung durch die Kälte oder die verschiedene Ausdehnung der einzelnen Körner reicht lange nicht aus, um dies zu erklären; auch wird kaum angenommen werden können, dass die Bewegung den Zusammenhang lockere und die Spalten zum Eindringen des Wassers schaffe, besonders wenn man umgekehrt das Fortschreiten des Gletschers aus dem Eindringen und Gefrieren des Wassers erklären will. Es hilft eben nichts, das zur Erklärung des Wachstums nöthige Wasser und die zum Gefrieren nöthige Kälte zu finden, wenn man nicht zugleich den Raum erhält, der das zum Wachstum nöthige Material zulassen kann.

Die angestellten Betrachtungen mögen zeigen, dass auch der Auffassung des Wachstums durch Anfrieren des hinein filtrirten Wassers sich manche noch nicht aufgeklärte Schwierigkeiten entgegenstellen.

Um den Unterschied der beiden etwas näher ausgeführten Anschauungen noch klarer zu präcisieren, müssen wir noch darauf aufmerksam machen, dass die ganze Oeconomie des Gletschers sich anders gestaltet, je nachdem wir uns der einen oder andern zuwenden.

Wenn das Wachstum des Gletscherkorns nur durch Ueberkrystallisieren eintritt, so stammt alles Gletschereis aus der Quelle des ewigen Schnees; auf der langen Reise

vom Firn zum Ende der Gletscherzunge wird kein neues Eis gebildet, sondern nur das vorhandene Eis so umgeformt, dass aus vielen kleinen verschieden orientierten Krystallen ein grosser einheitlicher Krystall entsteht. Der Gletscher ist aufzufassen als ein Eisstrom, der unter dem Einfluss der Schwere sich nach unten bewegt und durch Abschmelzen stets Substanz verliert. Wenn wir zwei fixe Profile annehmen, ein oberes und ein unteres, so ist im stabilen Zustande, das heisst wenn weder Stauung noch Ablation eintritt, die in einer bestimmten Zeit durch das obere Profil zuströmende Eismenge gleich der Eismenge, die in derselben Zeit das untere Profil passiert, plus der Menge, die zwischen beiden Profilen abschmilzt.

Ganz anders verhält es sich, wenn wir mit Forel das Wachstum des Gletscherkornes nur aus dem Gefrieren des hinzutretenden Wassers erklären. In diesem Falle hat zwar auch das Gletscherkorn, das unten anlangt, seinen Ursprung in der ewigen Schneeregion; aber es ist auf seiner langjährigen Reise von der Grösse eines Schneekrystalls zu der eines Hühnereis gewachsen und zwar durch Aufnahme und Assimilation von flüssigem Wasser. So zu sagen die ganze unten anlangende Eismasse rührt also nicht aus der oberen Schneeregion, sondern ist eine Wirkung sämtlicher Winterkälten, welche das Korn auf seiner Reise durchgemacht hat. Auch bei dieser Auffassung können wir die Vorstellung des Eisstromes anwenden und auf zwei fixe Profile beziehen; aber die denselben im stabilen Zustande bestimmende Gleichung ist eine andere. Es müssen dann einander gleich sein die Zuströmung durch das obere Profil plus der Menge des zwischen den Profilen gebildeten Eises einerseits und die Abführung durch das untere Profil plus der Menge des zwischen den Profilen abgeschmolzenen Eises andererseits.

Die Oeconomierechnungen lassen sich auch auf die ganze Gletscherzunge ausdehnen, indem man die Gesamtmasse des Gletschereises vergleicht mit dem, was das Abschmelzen wegführt, während der ganze Weg von oben nach unten beschrieben wird. Solche Rechnungen sind sowohl von Heim als von Forel angestellt worden. Der erstere schliesst daraus, dass die Annahme der Infiltrations- und Dilatationstheorie von Hugi und Grad zu einer dem Sachverhalt widersprechenden Zunahme der Gletscher ohne Ende führen würde; während umgekehrt Forel zu zeigen versucht, dass man bei Nichtannahme der genannten Theorie auf unannehmbare Gletschertiefen geräth. Die den verschiedenen Beobachtungen entnommenen Zahlen sind eben auf diesem Gebiete noch ziemlich elastisch. Da eine kritische und einlässliche Besprechung dieser Frage uns leicht zu weit führen würde, als wir hier beabsichtigen, so treten wir vorderhand nicht näher auf diesen Punkt ein.

Das Gesagte mag genügen, um die beiden ganz verschiedenen Anschauungen über das Wachstum des Gletscherkorns zu skizziren und die Schwierigkeiten anzuzeigen, denen beide begegnen. Ich habe nicht den Muth, mich bestimmt und entschieden für die alleinige Annahme der einen oder andern zu erklären. Auch ist ja sehr wohl möglich, dass je nach Umständen die beiden Arten des Wachstums sich geltend machen und somit beide bis zu einem gewissen Grade berechtigt sind; oben bei der Bildung des Firnes aus dem Schnee und des Gletschereises aus dem Firn hauptsächlich das Wachstum durch Infiltration und Ankrystallisiren und weiter unten vorwiegend Bildung grösserer Gletscherkörner durch Umkrystallisiren der Krystalle in einander unter Einfluss des Druckes. Jedenfalls müssen weitere Beobachtungen am Gletscher selbst und physicalische Studien über die

Eigenschaft des Eises noch manche Aufklärung schaffen; und es ist zu hoffen, dass die Unterstützungen, die in verschiedenen Ländern, insbesondere auch bei uns in der Schweiz, dem hauptsächlich Heimathlande der Gletscher, von staatlichen Behörden, Vereinen und Privaten den Untersuchungen und Messungen an Gletschern zugewandt werden, zur richtigen wissenschaftlichen Deutung dieser so grossartigen und in gar mancher Beziehung räthselhaften Naturerscheinung Wesentliches beitragen.

Basel, Juni 1882.

Ueber den Namen Schönbein.

Notiz von P. Merian.

Es macht vielleicht den Mitgliedern unserer Gesellschaft einiges Vergnügen, den latinisirten Namen unseres verstorbenen Freundes Schönbein zu vernehmen. In der kürzlich erschienenen Schrift von M. Honsell, der Bodensee und dessen Tieferlegung, Stuttg. 1879, wird einer Abbildung des Bodensee's von Tibianus (Schönbein) vom Jahre 1578 erwähnt. Von diesem Tibianus, richtiger Schinbein, Schullehrer in Ueberlingen, besitzen wir aus demselben Jahr ein Lobgedicht, Panegyricon super laudibus Acronii lacus, was sich unter Anderm auch in Scheuchzers Hydrographie abgedruckt findet. Nach schwäbischer Aussprache, welcher wohl auch Honsell folgt, ist Schinbein und Schönbein sehr nahe stehend. Die Latinisirung Tibianus passt freilich besser auf Schinbein.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel](#)

Jahr/Year: 1885

Band/Volume: [7_1885](#)

Autor(en)/Author(s): Hagenbach-Bischoff Eduard

Artikel/Article: [Das Gletscherkorn 192-216](#)